

دکتر تقی عدالتی. دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد - بنیاد پژوهشهای اسلامی
حسن فرخی. دبیر آموزش و پرورش مشهد - بنیاد پژوهشهای اسلامی

مقدمه‌ای بر شناخت نجوم در جغرافیای ریاضی

(۴)

حرکات زمین و آشنایی با زمان

AN INTRODUCTION TO ASTRONOMY IN MATHEMATICAL GEOGRAPHY «MOTION OF THE EARTH AND KNOWING WITH THE TIME»

by: T. Edalati. (ph.D.)

University of Mashhad - Islamic Reserch foundation
H. Farrokhi.

Ministry of Education Mashhad - Islamic Research Foundation

As we (know) the earth has different motions.

According to the rotation of the earth, about its axis we can define two different kinds of day:

1. sidereal day: rotation of the earth with respect to astar.
2. Sodar day: rotation of the earth with respect to the sun.

There are four cardinal points on the orbit of ecliptic:

Vernal & Autumnal equinox (& respectively), summer and winter solstices (S&S respectively).

زمین از نظر دینامیکی

حرکات زمین

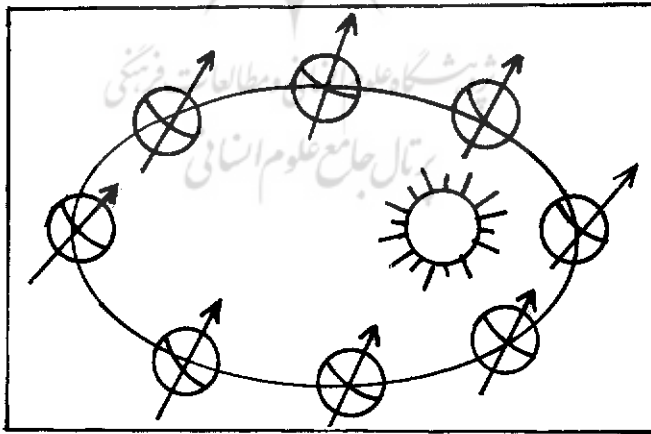
مطالعه خصوصیات چرخش زمین در زمانی که تمام حرکات نسبت به یک سیستم ساکن که با زمین در حال حرکت باشد، تقریباً غیر ممکن به نظر می آید. در واقع حرکت، تغییر موضع یک نقطه نسبت به یک سیستم مختصات است. اگر حرکت زمین را به صورت مجموعه‌ای از حرکات و یا سیستم‌های ساکن در نظر بگیریم، زمین دارای حرکات زیادی

خواهد بود، که مهمترین آنها عبارتند از.

- ۱- حرکت چرخشی^۱ زمین حول محور خودش.
 - ۲- حرکت انتقالی^۲ زمین به دور خورشید.
 - ۳- حرکت تقدیمی^۳ و نوسانی^۴ محور زمین.
 - ۴- حرکت زمین، خورشید و سایر سیارات در جهت ستاره نسر واقع (وگا)^۵
 - ۵- حرکت زمین، و میلیاردها ستاره، حول مرکز کهکشان راه شیری و...
- به طور کلی در جغرافیای ریاضی از مجموع حرکات زمین در فضا، سه نوع حرکت زیر مورد بحث قرار می‌گیرد

۱- حرکت چرخشی زمین

زمین در مدت ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۹ ثانیه یک بار به دور محور خود و در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت می‌چرخد. محور فرضی چرخش زمین از قطبین می‌گذرد. محور زمین با سطح مدارش به دور خورشید عمود نبوده و زاویه‌ای به اندازه ۲۱ و ۲۷ و ۲۳ می‌سازد که دارای اثرات مشخصی بر روی زمین است (شکل شماره ۱)



شکل شماره ۱- انحراف محور زمین نسبت به صفحه‌گردش سالیانه آن

دلایل حرکت چرخشی زمین. برای حرکت چرخشی زمین دلایل متعددی می توان ذکر کرد، از جمله:

۱- با توجه به این که تمام سیارات دارای حرکت چرخشی می باشند، زمین نیز دارای چنین حرکتی است.

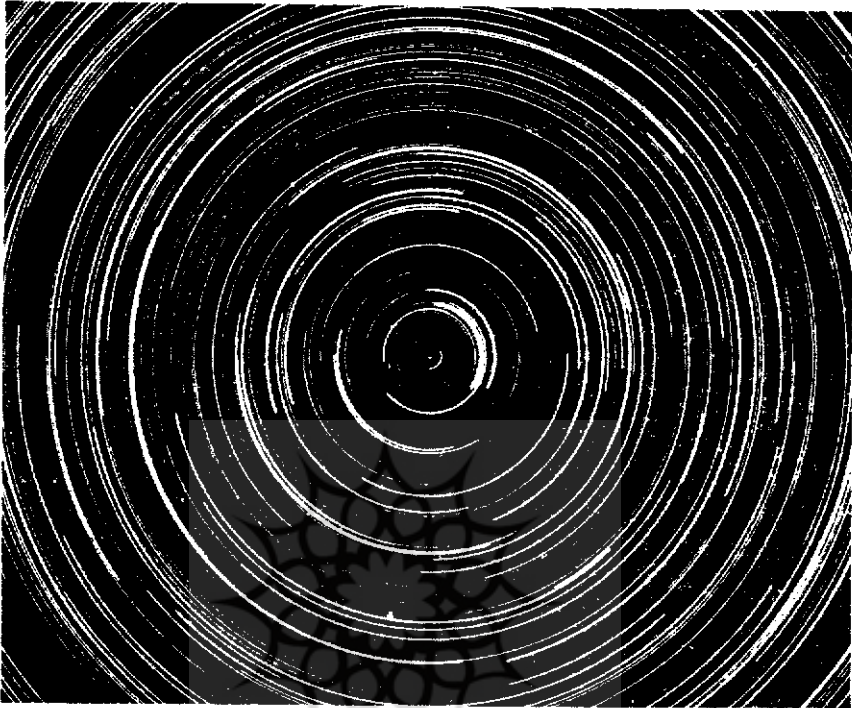
۲- شکل زمین خود یکی از دلایل حرکت چرخشی است زیرا فرورفتگی زمین در قطبین و برآمدگی آن در استوا، به علت حرکت چرخشی آن است. در فیزیک ثابت می شود که اگر جسم غیرصلبی به دور محور خود بچرخد، قسمت استوایی آن برآمده، و قطبین آن به صورت فرورفته ظاهر می شود.

۳- اگر زمین ساکن باشد و دیگر سیارات به دور زمین بچرخند، در این صورت، اولاً: باید کلیه سیارات در مدت ۲۴ ساعت یک بار به دور زمین گردش کنند که غیرممکن است. ثانیاً: باید سرعت آن دسته از ستارگانی که در فواصل دور، واقع شده اند، بیش از سرعت نور باشد درحالی که هیچ جسمی نمی تواند سرعتی بیش از سرعت نور داشته باشد.

۴- عکسبرداریهایی که از ستاره قطبی به عمل آمده، نشان می دهد که زمین حول محور خود و در راستای ستاره قطبی می چرخد. اگر در یک شب صاف، دیافراگم دوربین عکاسی برای مدت چند ساعت بازنگه داشته شود و سپس فیلم ظاهر شود، دوایری هم مرکز، مشاهده خواهد شد که تعداد و شعاع این دوایر هم مرکز به فاصله آنها از ستاره قطبی بستگی دارد، یعنی هرچه فاصله از ستاره قطبی بیشتر باشد، شعاع دوایر بزرگتر خواهد بود. وجود این دوایر هم مرکز دال بر حرکت چرخشی زمین است (عکس شماره ۱)

۵- اگر زمین ثابت و ساکن باشد و دیگر سیارات به دور آن بچرخند، این گردش در قطبها هم باید مشاهده شود درحالی که سیارات در قطبین چنین حرکتی ندارند و به نظر می آید که سیارات فقط در مدت ۲۴ ساعت یک بار به دور ستاره قطبی می چرخند.

۶- تجربه فوکو: در سال ۱۸۵۱م، فیزیکدان فرانسوی ال-فوکو در معبد پانتئون پاریس حرکت چرخشی زمین را ثابت نمود. طبق قوانین نیوتون، یکی از خواص پاندول این است که اگر تحت تأثیر نیرویی غیر از گرانی قرار نداشته باشد، در سطح ثابتی در فضا نوسان می کند، هر چند نقطه اتکا پاندول تغییر کند. طول پاندولی که فوکو انتخاب کرد ۶۷ متر و وزن گلوله

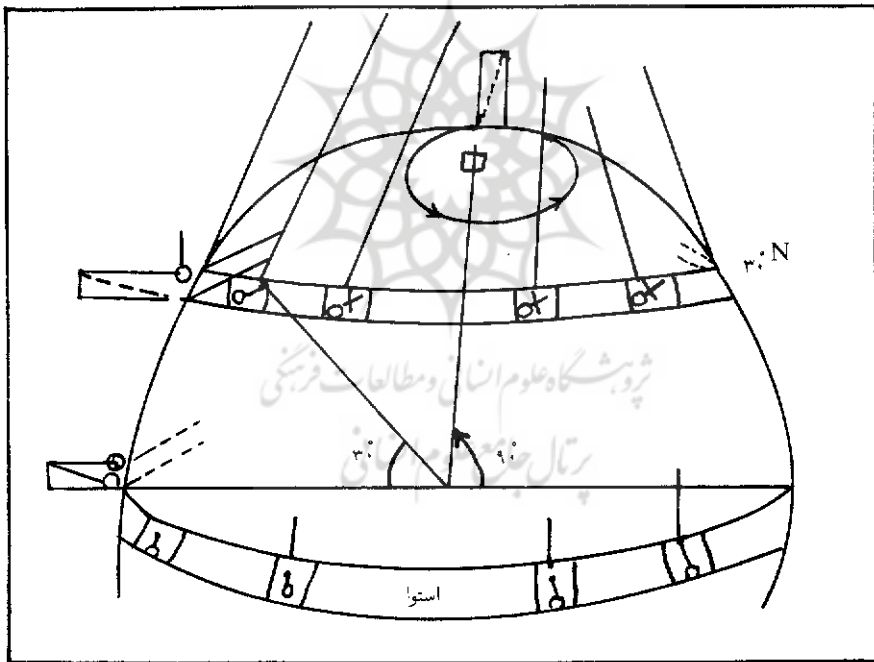


عکس شماره ۱ - تصویربرداری از ستاره قطبی

آن ۲۸ کیلوگرم و زمان هر نوسان کامل آن $۱۶/۴۲$ ثانیه بود. برای خنثی کردن اثر دست بر پاندول و حفظ سرعت اولیه آن، پاندول را به وسیله نخ‌ی نگه داشته و در موقع شروع آزمایش نخ را سوزانند. همچنین برای نشان دادن انحراف سطح نوسان پاندول در انتهای آن سوزنی قرارداد که سوزن بر سطح زمین پوشیده از شن نرم تماس داشت تا ضمن حرکت پاندول، سوزن شیارهایی بر روی شن‌ها ایجاد کند تا مقدار انحراف معلوم شود، در این صورت تنها نیرویی که بر پاندول وارد می‌شود، گرانش بین زمین و پاندول، با جهت روبه پایین آن بود. اگر زمین ساکن باشد، نیرویی وجود نخواهد داشت که باعث تغییر جهت صفحه نوسان پاندول شود، زیرا بر اساس قانون اول نیوتون (قانون ماند یا اینرسی) گلوله دارای سطح نوسان ثابتی است که در حرکت چرخشی زمین مؤثر نیست در حالی که در زیر آن، زمین در حال چرخش می‌باشد. در عرض جغرافیایی پاریس، پاندول فوکو، با دوره تناوبی ۳۲ ساعت، به اندازه

۳۶۰° منحرف شده و دوباره در سطح نوسان اولیه خود قرار گرفت. دوره تناوبی سطح نوسان پاندول فوکو در عرضهای جغرافیایی مختلف، متفاوت می باشد، یعنی در استوا سطح نوسان پاندول حرکتی ندارد و در جهت سطح نوسان پاندول تغییری به وجود نمی آید و در قطب در هر ۲۴ ساعت ۳۶۰° می چرخد. در عرض جغرافیایی ۶۰°، پاندول ۳۶۰° را تقریباً در ۲۸ ساعت و در عرض ۳۰° در ۴۸ ساعت طی می کند (شکل شماره ۲). سطح نوسان پاندول از قطب به طرف استوا با کم شدن عرض جغرافیایی، کاهش می یابد و بین استوا و قطب، دوره تناوبی پاندول فوکو بین بینهایت تا ۲۴ ساعت متغیر است، یعنی:

$$\text{سرعت نوسان پاندول به درجه در ساعت} = ۱۵ \times \sin \phi$$



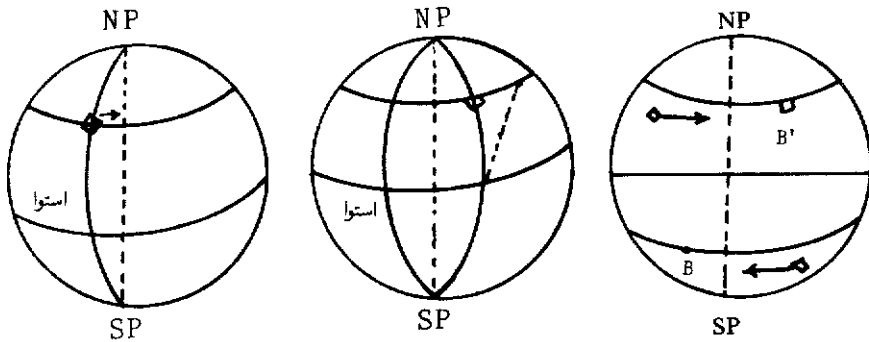
شکل شماره ۲ - آزمایش فوکو

در ایران برای اولین بار، آزمایش فوکو در سال ۱۳۱۳ به وسیله مرحوم غلامحسین رهنما در مدرسه شهید مطهری (سپهسالار سابق) در تهران انجام شد و سپس در شهرهای همدان - مشهد و تبریز نیز تکرار شد.

۷ - انحراف پرتابه: از آن جا که زمین یک جسم صلب است هر نقطه واقع بر استوای آن با سرعت خطی بیشتری می چرخد^۷. هر نقطه واقع در استوا، محیط زمین را در ۲۴ ساعت طی می کند بنابراین سرعت آن برابر است با $V = \frac{2\pi \times 6400}{24 \times 60 \times 60} = 0.3 \text{ km/s}$ و یا $V = 0.5 \text{ Km/s}$ و یا $V = \frac{2\pi R}{T}$ در این فرمول $V = 1100 \frac{\text{مایل}}{\text{ساعت}}$. چون در عرض جغرافیایی ۴۵°، یک نقطه بر روی دایره کوچکتر و تقریباً با شعاع ۴۵۰۰ کیلومتر حرکت می کند، لذا سرعت آن برابر است با $V = \frac{2\pi \times 4500}{24 \times 60 \times 60} = 0.3 \text{ km/s}$ حال اگر گلوله ای از طرف استوا به سمت شمال پرتاب شود، سرعت آن گلوله برابر است با مجموع سرعت حاصل از پرتاب گلوله و سرعتی که در نتیجه چرخش زمین ایجاد می شود. بعد از پرتاب شدن، تنها نیروی مؤثر بر آن گرانی زمین است که شتابی به طرف پایین ایجاد می کند و تأثیری در جهت شرقی - غربی پرتابه ندارد، ضمناً باید توجه داشت که سرعت خطی به سمت شرق بیشتر از نقاط شمالی تر است و با افزایش عرض جغرافیایی کاهش می یابد. گلوله ای که پرتاب می شود، سرعت اولیه 0.3 کیلومتر بر ثانیه را حفظ کرده و با پیشروی به طرف شمال، بعد از یک ثانیه، گلوله و نقطه پرتاب، هر دو 0.3 کیلومتر به طرف شرق منحرف شده اند. اما هدف پرتاب گلوله که در شمال بوده است به اندازه نقطه پرتاب نچرخیده، لذا طبیعی است که گلوله در شرق هدف مورد نظر فرود آید. بنابراین، جسمی که به طرف قطب پرتاب شود، به سمت شرق و جسمی که به طرف استوا رها شود به سمت غرب، منحرف می شود، این عمل اگر از مغرب به مشرق انجام گیرد نقطه اصابت در جلو هدف و هرگاه از مشرق به مغرب انجام شود، مقداری در پشت هدف، اصابت خواهد کرد. علت این حالت حرکت چرخشی زمین است، زیرا در فاصله خروج گلوله از دهانه تفنگ و تا رسیدن به هدف مورد نظر، زمین نیز در حال حرکت بوده و لذا درست به هدف مورد نظر اصابت نخواهد کرد (شکل شماره ۳)

۸ - انحراف بادهای آلیزه^۸: بادهای آلیزه، منظم و یا همیشگی بادهایی هستند که معمولاً در عرضهای پایین جغرافیایی می وزند. آنها را به اعتباری بادهای منظم شرقی نیز می گویند. این بادهای بین مدار رأس السرطان و رأس الجدی می وزند و حداقل در مدتی از سال $\frac{1}{4}$ سطح خشکیها و $\frac{1}{3}$ سطح اقیانوسها را تحت تأثیر قرار می دهند. از آن جا که مراکز کم فشار استوایی و پرفشار^۱ مداری همواره وجود دارند، لذا وزش این بادهای نیز پیوسته و دائمی

۷ - استروو، او، لیندرپ، پیلانز، اچ، مبانی نجوم، ترجمه زمر دیان، حسین - حاجبی، بهروز، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۴



شکل شماره ۳- انحراف پرتابه

است. این بادهای به وسیله نظم موجود در سرعت وزش آنها (به طور متوسط 20 Km/h) و نیز جهتشان مشخص می شوند. بطوری که در نیمکره شمالی در جهت شمال شرقی و در نیمکره جنوبی در جهت جنوب شرقی می وزند و به علت جابجایی مراکز پرفشار، در زمستان با زاویه 35° و در تابستان با زاویه 20° نسبت به مدارات می وزند. بادهای آلیزه به علت ویژگیهایشان نقش عمده ای در زندگی مردم دارند. این بادهای در گذشته به نام بادهای تجارتنی^{۱۱} معروف بوده و کمک بزرگی برای عبور کشتیها در اقیانوس اطلس می کرده اند^{۱۲}. امروز نیز بنادر و فرودگاهها غالباً در مسیر این بادهای حادث می شوند. علت انحراف مسیر بادهای آلیزه و نیز توده های هوایی^{۱۳} حرکت چرخشی زمین است. علت انحراف این بادهای را برای اولین بار فیزیکدان و ریاضیدان فرانسوی، کوریولیس^{۱۴} توضیح داد. او معتقد بود که به اجسام، اعم از جامدات، مایعات و گازها در روی سطح زمین نیرویی منحرف کننده وارد می شود که مقدار این انحراف به سرعت جسم بستگی دارد، لذا بر اجسام ساکن وارد نمی شود. همچنین مقدار این انحراف به سرعت حرکت چرخشی بستگی دارد و با سینوس عرض جغرافیایی متناسب می باشد، به همین دلیل در قطبین بیشتر بوده، یعنی $\sin 90^\circ = 1$ و در خط استوا مقدار آن صفر است، یعنی $\sin 0^\circ = 0$. اندازه نیروی کوریولیس را با رابطه زیر می توان بیان کرد: $2v \Omega \sin \phi$. در این فرمول v = سرعت افقی به سانتیمتر در ثانیه و Ω = سرعت

11- Trade Winds

۱۲- پ، گودار، آ، استن، آب و هواشناسی، ترجمه رجایی، عبدالحمید، انتشارات نیما، تبریز، ۱۳۶۶

13- Air Masses. 14- Coriolis

زاویه‌ای حرکت چرخشی زمین و $\varphi =$ عرض جغرافیایی است. نیروی کوریولیس نه تنها باعث انحراف اجسام، در نیمکره شمالی به سمت راست مسیر اولیه و در نیمکره جنوبی به سمت چپ مسیر اولیه می‌شود، بلکه در انحراف ظاهری مسیر اجسام و سیالاتی که مسیری طولانی را طی می‌کنند، اهمیت خاصی دارد. در پرتاب موشک‌های بین قاره‌ای، نشانه‌گیری توپهای دوربرد، در مسیر حرکت ظاهری ماهواره‌ها، در انحراف مسیر بادها و جریانهای کالی‌جو مؤثر می‌باشد.

۹- انحراف جریانهای دریایی^{۱۶}: جریانهای دریایی، نوعی جابجایی آب در اقیانوسها می‌باشند که در هر ثانیه می‌توانند میلیونها تن آب را جابجا کنند. سرعت متوسط آنها ۱ تا ۵ گره دریایی است. عوامل مختلفی از جمله، اختلاف چگالی ناشی از تغییر دما و شوری آنها، وزش بادها، در ایجاد جریانهای دریایی دخالت دارند. در جریانهای دریایی انحراف هم دیده می‌شود، به طوری که جهت آن دسته از جریانهای دریایی که از استوا به طرف قطب حرکت می‌کنند مانند گلف استریم، کوروشیو، فلوریدا، برزیل، آگولاس و... عموماً جنوب غربی- شمال شرقی است و جهت آن دسته از جریانهایی که از قطب به طرف استوا می‌آیند مانند آب سرد لابرادور، ایشیو، گرینلند، جریان بنگلا، هومبولت و... عموماً شمال شرقی- جنوب غربی است، علت این انحراف، حرکت چرخشی زمین و تا حدودی اثر نیروی کوریولیس می‌باشد، زیرا اگر زمین دارای حرکت چرخشی نبود، جریانهای دریایی و توده‌های هوایی بایستی فقط در روی یک مدار یا نصف النهار معین امتداد پیدا می‌کردند. به طور کلی مسیر جریانهای دریایی در نیمکره شمالی در جهت گردش عقربه‌های ساعت و در نیمکره جنوبی، خلاف حرکت عقربه ساعت است.

۱۰- هرگاه جسمی از ارتفاع زیاد و در امتداد قائم، از بالای یک برج رها شود، از امتداد مرکز زمین منحرف شده و در سمت مغرب فرود می‌آید زیرا سرعت حرکت زمین در ابتدای سقوط جسم بیش از نقطه برخورد است. سرعت حرکت زمین در استوا 5×10^4 cm/s و در ارتفاع h ، این سرعت برابر با $5 \times (R + h) R \text{ km/s}$ خواهد بود. از آن جا که جسم در ثانیه اول، ۵۰۰ سانتیمتر سقوط می‌کند ($R = 500$)، بنابراین اختلاف سرعت نقاط شروع سقوط و برخورد به زمین را براحتی می‌توان محاسبه کرد:

$$5 \times 10^4 \times \frac{6 \times 4 \times 10^8 + 500}{6/4 \times 10^8} - 5 \times 10^4 = 0/04 \text{ Cm} = 0/4 \text{ mm}$$

که در این فرمول، $R_0 = 6/4 \times 10^8 \text{ cm}$ است.

این آزمایش در سال ۱۸۰۲ در هامبورگ آلمان انجام شد. برای عرض جغرافیایی هامبورگ مقدار انحراف، $2/54 \text{ cm}$ بود. اگر زمین دارای حرکت چرخشی نبود، جسم رها شده بایستی در نقطه‌ای سقوط کند که امتداد شاغول از محل سقوط به آن نقطه می‌رسید و هیچ انحرافی در امتداد آن به وجود نمی‌آمد، اما جسم رها شده به مرکز زمین کشیده می‌شود و چون در فاصله سقوط جسم و رسیدن به زمین، زمین نیز از غرب به شرق در حرکت می‌باشد. لذا جسم، مقداری به طرف غرب منحرف می‌شود.

نتایج حرکت چرخشی زمین:

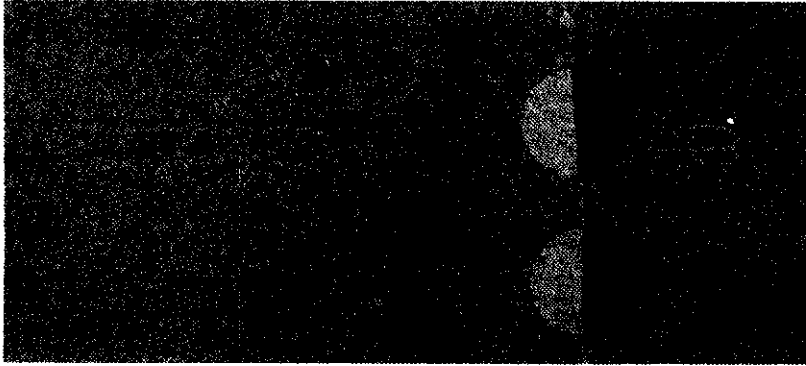
۱- پیدایش شب و روز: اگر زمین ثابت و بدون حرکت بود، شب و روز نیز در آن تغییر ناپذیر بودند ولی به دلیل حرکت چرخشی زمین از غرب به شرق، حول محور خودش، همواره قسمتی از زمین رو به آفتاب (روز) و قسمتی دیگر پشت به آفتاب (شب) است. سرعت حرکت چرخشی زمین در عرضهای مختلف، متفاوت در روی خط استوا حدود ۱۶۶۹ کیلومتر در ساعت و در نقطه قطب ۱۸ کیلومتر در ساعت است (۵ متر در ثانیه). این سرعت مشخص کننده شب و روز می‌باشد.

انواع شبانه‌روز: چون زمین، ضمن حرکت چرخشی خود، دارای حرکت انتقالی نیز می‌باشد، لذا در این حرکت زمین، مقداری به جلورفته و در نتیجه بر طول مدت شبانه‌روز نجومی افزوده می‌شود. به طور کلی ساده‌ترین تعریف شبانه‌روز عبارتست از: دوره تناوب چرخش کامل زمین حول محور خودش توسط چند نقطه نشانه. این نقاط عبارتند از: اعتدال بهاری، مرکز قرص خورشید و یک خورشید فرضی یا خیالی به نام خورشید متوسط. از نظر علمی سه نوع شبانه‌روز وجود دارد:

الف: شبانه‌روز نجومی^{۱۷}: مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک ستاره دوبار متوالی از بالای نصف النهار ناظر عبور کند و یا فاصله زمانی دو عبور متوالی اعتدال بهاری از مقابل

نصف النهار محلّ را شبانه روز نجومی گویند. طول مدت شبانه روز نجومی به علت بی نظمیهای حرکت زمین ثابت نبوده و مقدار کنونی آن ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۳ ثانیه است.

ب: شبانه روز خورشیدی ظاهری^{۱۸} (حقیقی): فاصله زمانی دو عبور متوالی مرکز قرص خورشید حقیقی از فراز نصف النهار محلّ را شبانه روز خورشیدی ظاهری گویند. به بیان دیگر شبانه روز خورشیدی ظاهری عبارتست از فاصله زمانی ظهر تا ظهر، یعنی قرار گرفتن خورشید در بلندترین نقطه آسمان از یک روز تا روز بعد. شبانه روز خورشیدی حقیقی زمان ثابت و منظمی را نشان نمی دهد و در طول سال مقدار آن بین ۲۳ ساعت و ۵۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه (در اعتدالین) تا ۲۴ ساعت و ۳۰ دقیقه (در انقلابین) تغییر می کند، علت این وضع آن است که وقتی زمان را بین دو عبور متوالی خورشید از نصف النهار محلّ می سنجیم. زمین نیز در این مدت ثابت نبوده و به دور خورشید می چرخد یعنی حدود یک درجه نسبت به خورشید به علت حرکت انتقالی خود، تغییر مکان می دهد لازم به یادآوری است که سرعت تغییر مکان روزانه زمین به دور خورشید به دلیل آن که مدار حرکت آن، دایره کامل نیست، متفاوت است، یعنی موقعی که زمین به خورشید نزدیکتر است، سریعتر و هنگامی که از خورشید دورتر است، کندتر حرکت می کند. نابرابری طول مدت شبانه روز خورشیدی ظاهری به علت انحراف محور زمین نسبت به صفحه مدار حرکت انتقالی آن و یا انحراف دایره البروج نسبت به استوای زمین است. شبانه روز نجومی تقریباً ۴ دقیقه کوتاهتر از شبانه روز خورشیدی ظاهری است، در نتیجه جهت قرار گرفتن زمین به سمت خورشید از یک روز به روز بعد، کمی تغییر می کند و اختلاف چرخش، تقریباً ۴ دقیقه است، زیرا زمین یک مدار ۳۶۰° را در ۳۶۵ روز طی می کند. بنابراین در امتداد مدارش به اندازه زاویه (۳۶۵/۳۶۰) یا تقریباً یک درجه در هر روز سال، جلو می افتد، لذا جهت خورشید در هنگام ظهر به اندازه یک درجه در روز انتقال پیدا می کند و زمین ۳۶۰° را در ۲۴ ساعت و ۱۴۴۰ دقیقه دور می زند که دقیقاً با چرخش یک درجه یا چهار دقیقه مطابقت دارد، از این رو چهار دقیقه اضافی برای موقعی است که زمین درجه اضافی مورد نیاز را برای کامل نمودن شبانه روز خورشیدی باید طی کند (شکل شماره ۴)



شکل شماره ۴ - انتقال ظاهری موضع روزانه خورشید در حالی که زمین در مدار خودش در حال حرکت است

از آن جا که طول مدت شبانه روز خورشیدی حقیقی (ظاهری) متغیر است، معیار مناسبی برای تعیین زمان نبوده و در زندگی روزمره از آن استفاده نمی شود، لذا برای رسیدن به یک زمان خورشیدی با طول مدت ثابت، از معیار دیگری استفاده می شود که براساس آن زمین با سرعت ثابتی بر روی استوای سماوی حرکت می کند.

ج: شبانه روز خورشیدی متوسط^{۱۹}: فواصلی که زمین به دور خورشید طی می کند ثابت بوده اما مدت و سرعت آن متفاوت است آیا دستگاهی موجود است که سرعت ثابت زمین را مشخص کند؟ چون چنین دستگاهی موجود نیست، لذا از یک خورشید فرضی یا تصویری استفاده می شود و به جای این که این خورشید بر روی دایرة البروج حرکت کند بر روی استوای عالم (سماوی) حرکت می کند و چون سرعت حرکت خورشید حقیقی بر روی دایرة البروج متغیر است سرعت حرکت خورشید فرضی ثابت می باشد، یعنی همیشه بر استوای زمین عمودی می تابند. به همین دلیل طول مدت روز و شب آن برابر خواهد بود، بنابراین شبانه روز خورشیدی متوسط عبارتست از مدت زمانی که طول می کشد تا مرکز قرص خورشید متوسط (مجازی یا خیالی) دوبار متوالی از فراز نصف النهار محل بگذرد. و یا این که، زمان مبتنی بر گردش ظاهری خورشید مجازی (تصویری) را که دارای سرعتی یکنواخت است،

شبانه‌روز خورشیدی متوسط می‌گویند. پس زمان را با حرکت یک خورشید فرضی به نام خورشید متوسط^{۲۰} اندازه‌گیری می‌کنیم که با سرعتی یکنواخت، یعنی دقیقاً یکسال خورشیدی، به دور زمین حرکت می‌کند^{۲۱} لذا روزها و ساعات زمانی که با خورشید متوسط اندازه‌گیری می‌شود، دارای طول یکسانی است. طول مدت شبانه‌روز خورشیدی متوسط برابر است با طول مدت شبانه‌روز خورشیدی حقیقی در یکسال و یا حد متوسط مجموع روزهای سال و این مدت مساوی ۲۴ ساعت خورشیدی متوسط است که هر ساعت آن به ۶۰ دقیقه و هر دقیقه به ۶۰ ثانیه تقسیم می‌شود. این امر مبنای تقسیم‌بندی زمان است. مبدأیی که امروز برای تعیین شبانه‌روز به کار می‌رود، نیمه شب یا ساعت صفر است، و این زمان از هنگامی که خورشید متوسط در طرف مخالف و در راستای نصف النهار محل قرار می‌گیرد، شروع می‌شود که بدان عبور پایینی نصف النهار^{۲۲} می‌گویند و وقتی خورشید متوسط در ۱۲ ساعت بعد به نصف النهار ناظر می‌رسد، ساعت ناظر، ساعت ۱۲ زمان متوسط محلی^{۲۳} را نشان می‌دهد. بدین ترتیب، هنگامی که آفتاب در مسیر حرکت ظاهری روزانه اش بر فراز بلندترین نقطه نصف النهار محل قرار می‌گیرد، ظهر یا نیمروز آن نقطه خواهد بود و موقعی که آفتاب به نصف الیل آن نقطه برسد، نیمه شب آغاز می‌شود. در این جا باید به شبانه‌روز عرفی^{۲۴} (رسمی) اشاره کرد که عمده در تقویم‌ها به کار می‌رود و در واقع همان شبانه‌روز خورشیدی متوسط است که مبدأ آن نیمه شب می‌باشد.

معادله زمان^{۲۵}: دو ساعت مختلف که یکی زمان خورشیدی متوسط و دیگری زمان خورشیدی حقیقی (ظاهری) را نشان دهند و هر دو ساعت بر روی یک وقت معین میزان شده باشند، پس از مدت کمی، مشاهده می‌شود که این دو ساعت با هم اختلاف پیدا می‌کنند. علت آن است که خورشید حقیقی با سرعت متغیر و خورشید متوسط با سرعت ثابت حرکت می‌کند، لذا لحظه وقوع پدیده‌ها با هم متفاوت بوده، بنابراین زمان خورشید ظاهری، گاهی جلوتر و زمانی عقب‌تر از زمان خورشیدی متوسط خواهد بود. به تفاضل شبانه‌روز خورشیدی حقیقی و شبانه‌روز خورشیدی متوسط، معادله یا تعدیل زمان گویند. در واقع

20- Mean Sun

۲۱- مدرسه ستاره‌شناسی و علوم دریایی مرینند، درسهایی از ستاره‌شناسی، ترجمه حاجی خداوردیخان، امیر معاونت فرهنگی آستان قدس، مشهد ۱۳۶۶.

22- Lower Transit of The Meridian. 23- Local Mean Time (L. M. T)

24- Civil Time. 25- Equation of Time.

معادله زمان به علت اختلاف جابجایی بین خورشید حقیقی و فرضی به وجود می آید، معادله زمان عددی است که ساعت‌های رایج را می توان با آن تصحیح کرد، فرمول معادله زمان عبارتست از:

$$E = MST - RST$$

در این فرمول: E = معادله زمان. MST = زمان خورشیدی متوسط. RST = زمان خورشیدی حقیقی (ظاهری). مقدار معادله زمان در طول سال برابر و یکسان نبوده و از حداقل $۱۴,۳۵-$ تا حداکثر $۱۶,۴+$ متغیر است. از طریق فرمول زیر، می توان معادله زمان را محاسبه کرد:

$$Eq_t = 9/870 \sin 2B - 7/52 + \cos B - 1/50 \sin B$$

در این فرمول $EO t . B = \frac{360(N-81)}{364}$ = معادله زمان. N = شماره روزها در سال میلادی و لذا $1 \leq N \leq 365$. جداول شماره ۱ و ۲ مقادیر معادله زمان را برای تمام روزهای سال نشان می دهند.

زمان نجومی: اگر موضع ستاره خاصی را مثلاً در ساعت ۹ بعد از ظهر در نظر بگیریم، این ستاره را در شب بعد و در همان ساعت، کمی در سمت غرب رؤیت خواهیم کرد، زیرا زمین به اندازه یک درجه از چرخش کامل بیشتر چرخیده و در نتیجه در ساعت ۸ و ۵۶ دقیقه بعد از ظهر شب دوم است که می توان ستاره فوق را در موضع اصلیش رؤیت کرد. حال اگر ساعت خود را طوری تنظیم کنیم که در هر دور ۴ دقیقه تندتر کار کند، بعد از سپری شدن ۲۴ ساعت، هر ستاره در همان موضع شب قبل ظاهر خواهد شد، این ساعت، زمان نجومی را نشان می دهد. ساعت نجومی وسیله مناسبی در ستاره شناسی است زیرا ستارگان در هر ۲۴ ساعت در مواضع اولیه شان قابل رؤیتند. در زمان نجومی، ستاره بر روی افق ظاهر شده و در سراسر سال و در بلندترین نقطه آسمان طلوع و غروب یکسانی خواهند داشت. به عبارت دیگر، زمان نجومی بر اساس حرکت ستارگان یا عبور نقطه اول حمل (اعتدال بهاری) از نصف النهار محل تنظیم می شود و زمانی که این نقطه در راستای نصف النهار محل ناظر قرار گیرد، زمان نجومی صفر خواهد بود که بدان زمان نجومی محلی گویند. چون زمین حول محور خود می چرخد به نظر می آید که ستارگان مشابه به دور زمین حرکت می کنند لذا زمان نجومی دو نقطه مانند طول جغرافیایی آنها متفاوت بوده و بیشترین مقدار آن ۲۴ ساعت است. شبانه روز نجومی به مقدار ۵۶ و ۳ از شبانه روز خورشیدی کوتاهتر است.

۲ - اختلاف ساعت: دومین نتیجه حرکت چرخشی زمین، پیدا شدن اختلاف ساعت است. زمین در مدت تقریباً ۲۴ ساعت یک دور کامل حول محور خودش می چرخد. در این

جدول شماره ۱ - مقادیر معادله زمان برای تمام روزهای سال

روز	فروردین		اردیبهشت		خرداد		تیر		مرداد		شهریور		
	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	
۱	۲۲	-۷	۳	۱	۱۸	۳	۴۸	-۱	۱۷	۱۷	-۶	۳۹	-۲
۲	۴	-۷	۱۵	۱	۱۴	۳	۰/۲	-۲	۱۹	۱۹	-۶	۲۴	-۲
۳	۴۷	-۶	۲۷	۱	۹	۳	۱۳	-۲	۲۰	۲۰	-۶	۸	-۲
۴	۲۹	-۶	۳۸	۱	۴	۳	۲۵	-۲	۲۰	۲۰	-۶	۵۱	-۱
۵	۱۱	-۶	۴۸	۱	۵۸	۲	۳۸	-۲	۲۰	۲۰	-۶	۳۵	-۱
۶	۵۳	-۵	۵۹	۱	۵۲	۲	۵۰	-۲	۱۹	۱۹	-۶	۱۸	-۱
۷	۳۵	-۵	۸	۲	۴۵	۲	۲	-۳	۱۸	۱۸	-۶	۰/۳۳	-۱
۸	۱۷	-۵	۱۸	۲	۳۸	۲	۱۴	-۳	۱۶	۱۶	-۶	۴۳	-۰
۹	۵۹	-۴	۲۶	۲	۳۰	۲	۶	-۳	۱۴	۱۴	-۶	۲۵	-۰
۱۰	۴۲	-۴	۳۵	۲	۲۲	۲	۳۸	-۳	۱۱	۱۱	-۶	۶	-۰
۱۱	۲۴	-۴	۴۲	۲	۱۳	۲	۴۹	-۳	۷	۷	-۶	۱۳	+۰
۱۲	۶	-۴	۵۰	۲	۴	۲	۶۰	-۳	۳	۳	-۶	۳۱	+۰
۱۳	۴۹	-۳	۵۶	۲	۵۵	۱	۱۱	-۴	۵۸	۵۸	-۵	۵۱	+۰
۱۴	۳۱	-۳	۲	۳	۴۶	۱	۲۱	-۴	۵۲	۵۲	-۵	۱۰	۱
۱۵	۱۴	-۳	۸	۳	۳۶	۱	۳۱	-۴	۴۶	۴۶	-۵	۳۰	۱
۱۶	۵۷	-۲	۱۳	۳	۲۵	۱	۴۱	-۴	۴۰	۴۰	-۵	۵۰	۱
۱۷	۴۰	-۲	۱۷	۳	۱۵	۱	۵۰	-۴	۳۲	۳۲	-۵	۱۰	۲
۱۸	۲۳	-۲	۲۱	۳	۴	۱	۵۹	-۴	۲۵	۲۵	-۵	۳۰	۲
۱۹	۶	-۲	۲۵	۳	۵۳	۰	۸	-۵	۱۶	۱۶	-۵	۵۱	۲
۲۰	۵۰	-۱	۲۸	۳	۴۱	۰	۱۶	-۵	۷	۷	-۵	۱۱	۳
۲۱	۳۴	-۱	۳۰	۳	۳۰	۰	۲۴	-۵	۵۸	۵۸	-۴	۳۲	۳
۲۲	۱۸	-۱	۳۲	۳	۱۸	۰	۳۱	-۵	۴۸	۴۸	-۴	۵۳	۳
۲۳	۲	-۱	۳۳	۳	۶	۰	۳۸	-۵	۳۷	۳۷	-۴	۱۴	۴
۲۴	۴۷	-۰	۳۳	۳	۷	-۰	۴۴	-۵	۲۶	۲۶	-۴	۳۵	۴
۲۵	۳۲	-۰	۳۳	۳	۱۹	-۰	۵۰	-۵	۱۴	۱۴	-۴	۵۶	۴

روز	فروردین ثانیه دقیقه	اردیبهشت ثانیه دقیقه	خرداد ثانیه دقیقه	تیر ثانیه دقیقه	مرداد ثانیه دقیقه	شهریور ثانیه دقیقه
۲۶	۱۷ -۰	۳۳ ۳	۳۱ -۰	۵۶ -۵	۲ +۲ -۴	۱۷ ۵
۲۷	۳ -۰	۳۳ ۳	۴۴ -۰	۰/۹۳ -۶	۵۰ -۳	۳۸ ۵
۲۸	۱۱ ۰	۳۰ ۳	۵۷ -۰	۵ -۶	۳۶ -۳	۵۹ ۵
۲۹	۲۵ ۰	۲۸ ۳	۹ -۱	۹ -۶	۲۳ -۳	۲۰ ۶
۳۰	۳۸ ۰	۲۵ ۳	۲۲ -۱	۱۲ -۶	۹ -۳	۴۱ ۶
۳۱	۵۱ ۰	۲۲ ۳	۳۵ -۱	۱۵ -۶	۵۴ -۲	۲ ۷

جدول شماره ۲ - مقادیر معادله زمان برای تمام روزهای سال

روز	مهر ثانیه دقیقه	آبان ثانیه دقیقه	آذر ثانیه دقیقه	دی ثانیه دقیقه	بهمن ثانیه دقیقه	اسفند ثانیه دقیقه
۱	۲۳ ۷	۲۸ ۱۵	۵۴ ۱۳	۴۱ ۱	۰۰ -۱۱	۴۵ -۱۳
۲	۴۳ ۷	۳۶ ۱۵	۳۸ ۱۳	۱۲ ۱	۱۷ -۱۱	۳۹ -۱۳
۳	۴ ۸	۴۴ ۱۵	۲۱ ۱۳	۴۲ ۰	۳۳ -۱۱	۳۲ -۱۳
۴	۲۴ ۸	۵۱ ۱۵	۴ ۱۳	۱۳ ۰	۴۸ -۱۱	۲۵ -۱۳
۵	۴۵ ۸	۵۷ ۱۵	۴۶ ۱۲	۱۶ -۰	۳ -۱۲	۱۷ -۱۳
۶	۵ ۹	۲ ۱۶	۲۷ ۱۲	۴۶ -۰	۱۷ -۱۲	۸ -۱۳
۷	۲۵ ۹	۷ ۱۶	۷ ۱۲	۱۵ -۱	۳۰ -۱۲	۵۹ -۱۲
۸	۴۴ ۹	۱۱ ۱۶	۴۷ ۱۱	۴۴ -۱	۴۲ -۱۲	۴۹ -۱۲
۹	۴ ۱۰	۱۴ ۱۶	۲۶ ۱۱	۱۳ -۲	۵۴ -۱۲	۳۸ -۱۲
۱۰	۲۳ ۱۰	۱۶ ۱۶	۴ ۱۱	۴۱ -۲	۵ -۱۳	۲۷ -۱۲
۱۱	۴۲ ۱۰	۱۸ ۱۶	۴۲ ۱۰	۱۰ -۳	۱۴ -۱۳	۱۶ -۱۲
۱۲	۰/۲ ۱۱	۱۹ ۱۶	۱۹ ۱۰	۳۸ -۳	۲۳ -۱۳	۴ -۱۲
۱۳	۱۸ ۱۱	۱۹ ۱۶	۵۶ ۹	۵ -۴	۳۲ -۱۳	۵۱ -۱۱
۱۴	۳۶ ۱۱	۱۸ ۱۶	۳۱ ۹	۳۳ -۴	۳۹ -۱۳	۳۹ -۱۱
۱۵	۵۴ ۱۱	۱۶ ۱۶	۷ ۹	۰۰ -۵	۴۶ -۱۳	۲۵ -۱۱

روز	مهر		آبان		آذر		دی		بهمن		اسفند	
	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه
۱۶	۱۱	۱۲	۱۳	۱۶	۴۲	۸	۲۶	-۵	۵۲	۱۳	۱۲	-۱۱
۱۷	۲۸	۱۲	۱۰	۱۶	۱۶	۸	۵۲	-۵	۵۷	۱۳	۵۷	-۱۰
۱۸	۴۴	۱۲	۶	۱۶	۵۰	۷	۱۸	-۶	۰/۷	۱۴	۴۳	-۱۰
۱۹	۰۰	۱۳	-۷/۴	۱۶	۲۳	۷	۴۳	-۶	۴	۱۴	۲۸	-۱۰
۲۰	۱۵	۱۳	۵۵	۱۵	۵۶	۶	۸	-۷	۷	۱۴	۱۳	-۱۰
۲۱	۳۰	۱۳	۴۸	۱۵	۲۹	۶	۳۲	-۷	۸	۱۴	۵۷	-۹
۲۲	۴۴	۱۳	۴۰	۱۵	۱	۶	۵۶	-۷	۱۰	۱۴	۴۱	-۹
۲۳	۵۸	۱۳	۳۲	۱۵	۳۳	۵	۱۹	-۸	۱۰	۱۴	۲۵	-۹
۲۴	۱۲	۱۴	۲۳	۱۵	۵	۵	۴۱	-۸	۹	۱۴	۹	-۹
۲۵	۲۴	۱۴	۱۲	۱۵	۳۷	۴	۳	-۹	۸	۱۴	۵۲	-۸
۲۶	۳۶	۱۴	۱	۱۵	۸	۴	۲۴	-۹	۶	۱۴	۳۵	-۸
۲۷	۴۸	۱۴	۵۰	۱۴	۳۹	۳	۴۵	-۹	۳	۱۴	۱۸	-۸
۲۸	۵۹	۱۴	۳۷	۱۴	۱۰	۳	۵	-۱۰	۰	۱۴	۱	-۸
۲۹	۹	۱۵	۲۳	۱۴	۴۰	۲	۲۴	-۱۰	۵۶	۱۳	۴۴	-۷
۳۰	۱۹	۱۵	۹	۱۴	۱۱	۲	۴۲	-۱۰	۵۱	۱۳	۲۶	-۷

چرخش تمام نقاطی که در روی استوا واقع شده‌اند در هر شبانه روز یک بار از مقابل خورشید عبور می‌کنند، چون سرعت حرکت چرخشی زمین در استوا 1669 km/h است، فاصله طولی زمین در هر درجه در روی خط استوا برابر با 111 km خواهد بود، یعنی زمین 360 رادر 24 h و در هر ساعت 15 قوسی و در هر دقیقه زمان، 15 قوسی، و در هر ثانیه زمانی، 15 قوسی و هر درجه از قوس را در 4 زمانی مدار استوایی خود، طی می‌کند. بنابراین، اگر خورشید در مقابل یک نصف النهار قرار گرفته باشد، خورشید پس از 4 دقیقه زمانی به نصف النهار غربی آن می‌رسد^{۲۶} و دقیقاً 4 دقیقه زمانی نیز از نصف النهار شرقی گذشته است، لذا در هر لحظه از

شبانه روز که خورشید از فراز یکی از نصف النهارات بگذرد، ظهر آن نقطه است، پس ظهر نقاطی که در شرق آن نصف النهار واقع شده اند، سپری شده و ظهر نقاطی که در غرب آن نقطه قرار گرفته اند، هنوز نرسیده است و بدین ترتیب ساعت محلی نقاطی که روی یک نصف النهار واقع نشده اند هم متفاوت خواهد بود. با در دست داشتن فواصل درجه ای نقاط مختلف، می توان اختلاف ساعت آن نقاط را به دست آورد.

ساعت محلی^{۲۷}: هر نقطه از زمین ساعت مخصوص به خود دارد که به طور دقیق ظهر و نیمه شب آن را تعیین می کنند، لذا زمان محلی بر حسب موقعیت خورشید از نقاط مختلف سطح زمین محاسبه می شود و همان طوری که اشاره شد ظهر کلیه نقاطی که روی یک نصف النهار قرار ندارند، از نظر زمانی با یکدیگر تفاوت پیدا می کند و نقاط شرقی از نظر زمانی جلوتر از نقاط غربی خواهند بود. به طور کلی در کشورهایی که مساحت متوسطی دارند و در یک قاچ ۱۵ بر روی کره زمین قرار گرفته اند، ساعت محلی کلیه شهرهای آن کشور را مطابق ساعت محلی پایتخت انتخاب می کنند. کشورهای وسیعی که بیش از یک قاچ وسعت دارند را به چند قسمت تقسیم کرده و ساعت هر قسمت را بر اساس ساعت محلی مهمترین شهری که در آن قسمت واقع است، در نظر می گیرند.

ساعت بین المللی: برای اموری که جنبه جهانی دارد از قبیل پرواز هواپیماها، حرکت قطارها و کشتیها، همزمانی در گزارشات هواشناسی و... می توان از ساعت محلی استفاده کرد، در چنین مواردی از ساعت رسمی بین المللی استفاده می شود. این ساعت همان ساعت محلی نصف النهار گرینویچ است که برای تمام دنیا به کار می رود، به عبارت دیگر، زمان متوسط گرینویچ^{۲۸} (GMT) همان زمان رسمی کشور انگلستان است، که با ساعت منطقه گرینویچ، (ساعت منطقه زمانی صفر) و یا با زمان بین المللی^{۲۹} (U.T) که از نظر علمی و ارتباطات اهمیت دارد، مطابقت می کند.

ساعت شرعی: ساعت شرعی بستگی به خورشید حقیقی (ظاهری) دارد و برای تعیین آن باید آفتاب را نسبت به نصف النهار محل در نظر گرفت.

انواع ساعات شرعی:

۱- اذان ظهر: لحظه ای که مرکز آفتاب بر روی نصف النهار بالای* ناظر قرار بگیرد، به عنوان موقع اذان ظهر انتخاب می شود. برای تعیین وقت ظهر روشهای متفاوتی وجود دارد:

روش اول: اگر لحظه و زمان ظهر گرینویچ 3° در دست باشد از طریق فرمول زیر می توان لحظه ظهر محل را در ایران به دست آورد:

$$\text{اذان ظهر محل} = \text{ظهر گرینویچ} + 3/5 \frac{\lambda}{15}$$

در این فرمول: λ = طول جغرافیایی. علامت (-) برای محلهایی که در شرق تهران قرار گرفته اند. علامت (+) برای محلهایی که در غرب تهران قرار گرفته اند. $3/5$ = اختلاف ساعت تهران و گرینویچ

روش دوم: اگر زمان ظهر گرینویچ را نداشته باشیم، به طریق زیر عمل می کنیم:

$$\lambda \text{ محل مورد نظر} - \text{تهران } \lambda \div 15 = \text{اذان ظهر محل} \mp \text{ظهر تهران}$$

به عبارت دیگر اختلاف طول جغرافیایی تهران و محل مورد نظر را به دست آورده و از وقت اذان ظهر رادیو (تهران) کم می کنیم وقت اذان ظهر محل مورد نظر به دست می آید. به عنوان مثال، اگر اختلاف طول جغرافیایی تهران و مشهد حدود 5° باشد

$$\text{اختلاف وقت اذان تهران و مشهد} = \frac{5 \times 60}{15} = \frac{300}{15} = 20 = 28$$

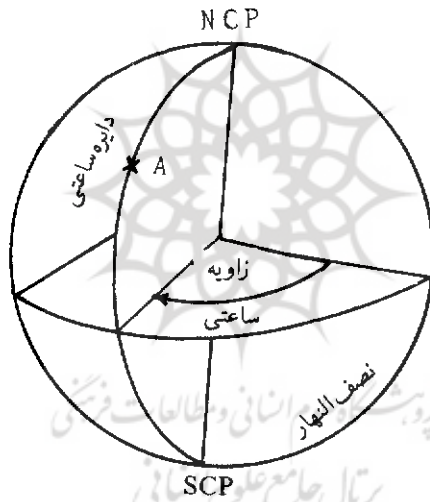
در این صورت اگر، 28 را از وقت اذان ظهر تهران (رادیو) کم کنیم، وقت اذان ظهر مشهد به دست می آید.

۲- اذان صبح: براساس تعریف رساله های شرعی، وقت اذان صبح هنگامی است که مرکز خورشید به اندازه 18° زیر افق ناظر قرار گیرد؛ یعنی فاصله سمت الرأسی آفتاب (Z) برابر 108° ، گردد. برای محاسبه وقت اذان صبح می توان از فرمول زیر استفاده کرد:

$$\text{صبح (زاویه ساعتی خورشید)} - \text{وقت اذان ظهر محل} = \text{وقت اذان صبح محل}$$

*: نصف النهار بالای ناظر، موقعی است که جسم آسمانی در حداکثر ارتفاع خود باشد.

زاویه ساعتی^{۳۱}: به قوسی از استوای سماوی که بین نصف النهار محلّ و نصف النهار ستاره و یا دایره ساعتی واقع است، اطلاق می شود به عبارت دیگر، زاویه ساعتی هر ستاره، مقدار قوسی است که ستاره از روی نصف النهار محلّ عبور کرده باشد. در مورد خورشید، قوسی از مدار خورشید که از روی نصف النهار پایین محلّ گذشته باشد، زاویه ساعتی گویند. این زاویه برحسب واحدهای زمان در روی استوای سماوی اندازه گیری می شود. جهت اندازه گیری آن، از نصف النهار واقع در روی کره سماوی، به سمت غرب می باشد که بین ۰ تا ۲۴ ساعت در تغییر است (شکل شماره ۵). زاویه ساعتی را از طریق فرمول زیر، می توان به دست آورد:



شکل شماره ۵ - زاویه و دایره ساعتی برای ستاره مؤوض A

$$\cos(HA) = \frac{\cos 10^{\circ} \delta}{\cos \Phi \cos \delta} - \operatorname{tg} \Phi \operatorname{tg} \delta$$

در این فرمول HA = زاویه ساعتی خورشید Φ = عرض جغرافیایی محلّ.
 δ = میل خورشید. اضافه می شود که زاویه 10° برابر با فاصله سمت الرأسی* خورشید در لحظه اذان صبح است.

31- Hour Angle

۵: در مورد اصطلاحاتی از قبیل فاصله سمت الرأسی- زاویه سمت الرأس و... در سیستم مختصات بحث خواهد شد.

۳- اذان مغرب. براساس تعاریف رساله‌های شرعیّه، وقت اذان مغرب هنگامی است که مرکز خورشید به اندازه $۵/۴$ درجه زیر افق ناظر قرار گیرد و در نتیجه فاصله سمت الرأسی آن $۵/۹۴$ می‌شود. با توجه به فرمولهای زیر می‌توان زمان اذان مغرب را در هر عرض جغرافیایی به دست آورد:

$$\cos(HA) = \frac{\cos ۹۴/۵}{\cos \Phi \cos \delta} - \operatorname{tg} \Phi \operatorname{tg} \delta$$

که (HA) زاویه ساعتی خورشید در هنگام اذان مغرب است ولذا:
مغرب (زاویه ساعتی خورشید) + وقت اذان ظهر محل = وقت اذان مغرب

۴- زمان طلوع و غروب خورشید در هر محل:

زمان طلوع و غروب خورشید، لحظه‌ای که مرکز خورشید زیر افق ناظر قرار دارد را با توجه به جوی که زمین را دربر گرفته است، می‌توان از طریق فرمول زیر به دست آورد:

$$\cos(HA) = \frac{\cos Z}{\cos \Phi \cos \delta} - \operatorname{tg} \Phi \operatorname{tg} \delta$$

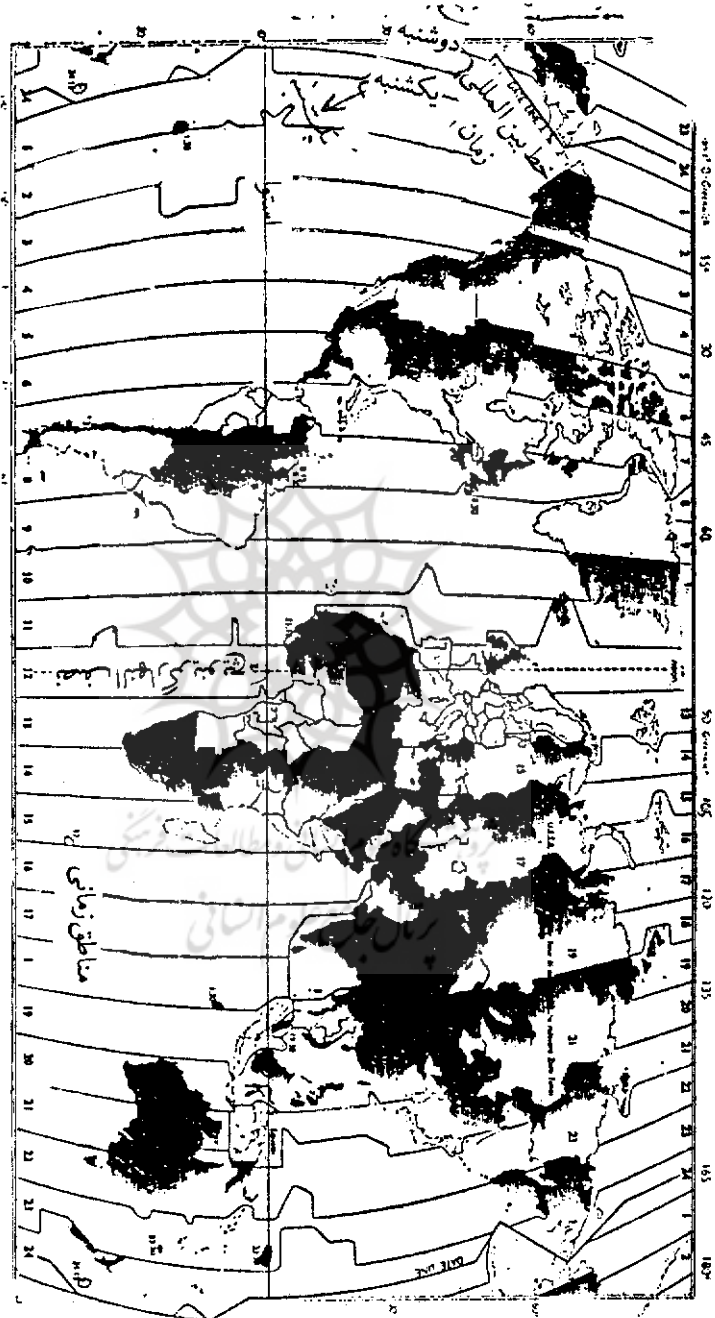
طلوع (زاویه ساعتی) - وقت اذان ظهر محل = طلوع آفتاب در هر محل
غروب (زاویه ساعتی) + وقت اذان ظهر محل = غروب آفتاب در هر محل

$$Z = ۹۰/۸۳۳۳$$

مناطق زمانی^{۳۲}: از آنجایی که روشهای مربوط به زمان ظاهری و متوسط برای استفاده روزانه مناسب نمی‌باشد برای جلوگیری از بی‌نظمی ساعت بین کشورهای نزدیک روش مناطق زمانی انتخاب شده است. در سال ۱۸۸۴م، نمایندگان ۲۶ کشور جهان در واشنگتن د. سی آمریکا موافقت کردند که نصف النهار گرینویچ به عنوان نصف النهار مبدأ، برای اندازه‌گیری طول جغرافیایی، پذیرفته شود، به دنبال آن در سال ۱۹۱۱م، کره زمین به ۲۴ منطقه زمانی موسوم به قاعدهای ساعتی تقسیم و زمان نصف النهار مرکزی هر قاعده به عنوان زمان رسمی منطقه زمانی انتخاب شد. مبنای این روش، زمان متوسط گرینویچ (G. M. T) است و هر یک از مناطق زمانی، در شرق یا غرب گرینویچ قرار می‌گیرند. عرض هر منطقه

زمانی برابر با ۱۵ طول جغرافیایی و یا یک ساعت خورشیدی است، لذا تمام کسانی که در داخل یک منطقه زمانی زندگی می‌کنند، صرف نظر از طول جغرافیایی، ساعت‌های خود را با یک زمان هماهنگ تنظیم می‌کنند، زمان منطقه‌ای هر منطقه‌ی زمانی، زمان متوسط محلی نصف النهار مرکزی آن منطقه بوده و این نصف النهارات زمان مرکزی، همه، مضربی از ۳۰°، ۴۵° و... هستند. به هر منطقه عددی به نام توصیف منطقه‌ای نسبت می‌دهند. در سطح زمین عملاً در مرز قاج‌های ساعتی (مرزهای منطقه‌ای) به دلایل سیاسی، جغرافیایی و طبیعی بی‌نظمی‌هایی دیده می‌شود و از شکل هندسی منظمی پیروی نمی‌شود. لذا، بعضی از کشورها مانند عربستان از زمان منطقه‌ای استفاده نمی‌کنند و زمان محلی به کار می‌برند. توصیف منطقه‌ای در طول جغرافیایی غربی با علامت (+) و در طول جغرافیایی شرقی با علامت (-) نشان داده می‌شود (نقشه شماره ۱)

بدین ترتیب زمان (ساعت) رسمی در قاج صفر، بر نصف النهار گرینویچ که همان ساعت محلی (حقیقی) گرینویچ است منطبق می‌باشد. و زمان رسمی در قاج شماره ۱+ و ۵+ که در غرب گرینویچ قرار دارد به ترتیب ۱ ساعت و ۵ ساعت از ساعت محلی گرینویچ عقب‌تر می‌باشد. بهمین ترتیب زمان محلی کشورهای که در شرق گرینویچ قرار دارند، همان تعداد ساعت از زمان گرینویچ جلوتر است. در کشورهایی که وسعت کم دارند بین مرزهای شرقی و غربی آن اختلاف ساعت چندانی محسوس نیست ولی در کشورهایی که وسعت زیادی دارند و گسترش آنها در جهت طول جغرافیایی است. چند قاج ساعتی یا منطقه زمانی وجود دارد به عنوان مثال، کشور شوروی سابق بین $20^{\circ}E$ (دریای بالتیک) تا حدود $170^{\circ}E$ (باب برینگ) طول جغرافیایی قرار گرفته است که در آن نمی‌توان از ساعت واحدی استفاده کرد و لذا از ۱۱ قاج ساعتی استفاده می‌شود، یعنی دارای ۱۱ منطقه زمانی است. در ایالات متحده آمریکا و آلاسکا ۶ منطقه زمانی، در کانادا، ۶ قاج ساعتی محلی و در چین ۴ منطقه زمانی وجود دارد. در بعضی از کشورها مانند ایران که میان دو قاج متوالی ساعتی قرار گرفته‌اند، متوسط زمانی قاج‌ها را به عنوان ساعت رسمی انتخاب می‌کنند. متوسط قاج‌های ایران ۳/۵- ساعت است و در نتیجه زمان رسمی ایران ۳ ساعت و ۳۰ دقیقه از گرینویچ جلوتر است، لازم به تذکر است که نصف النهار مرکزی ایران (54°) می‌باشد و در واقع همان نصف النهار سمندان با طول جغرافیایی 45° و 23° و 53° است، ولی به دلیل نزدیکی به تهران به نام نصف النهار تهران معروف شده است، نتیجه آن که، ساعت



نقشه شماره ۱ - مناطق زمانی

نصف النهار ۵۴ ساعت رسمی کشور می باشد. شرقی ترین نقطه ایران، کوهک با طول جغرافیایی ۱۸ و ۶۳ و غربی ترین نقطه ایران، سلیمان آغل با طول جغرافیایی ۵، ۴۴ می باشد، بنابراین، اختلاف زمانی شرقی ترین نقطه با تهران ۵۶ و ۴۷ و غربی ترین نقطه با تهران ۵۶، ۲۸ و در نتیجه اختلاف ساعت سراسر ایران معادل ۵۲، ۱۶^h خواهد بود.

برای تبدیل زمان متوسط گرینویچ به زمان منطقه ای از فرمول زیر می توان استفاده

کرد:

$$GMT = ZT + (ZD)$$

در این فرمول $ZT =$ زمان منطقه ای، $ZD =$ توصیف مناطق زمانی

خط بین المللی زمان^{۳۳}: در میان قاجهای ۲۴ گانه مناطق زمانی، قاج شماره ۱۲ وضع خاصی دارد بدین ترتیب که زمان در غرب نصف النهار ۱۸۰ دقیقاً ۱۲ ساعت جلوتر از گرینویچ و در شرق آن ۱۲ ساعت عقب تر است. در نتیجه تاریخ در سمت غرب آن از سمت شرق، یک روز جلوتر است، لذا در سنجش زمان بین کشورهای مختلف، علاوه بر اختلاف ساعت، موضوع خط بین المللی زمان که بدان خط تغییر تاریخ و خط بین المللی تاریخ نیز می گویند، مطرح است، این خط در واقع ادامه نصف النهار گرینویچ در اقیانوس آرام است. به عبارت دیگر این خط بر نصف النهار ۱۸۰ منطبق است و با گذشتن از آن، تاریخ به مدت یک روز تغییر می کند، یعنی از غرب عالم به شرق (از قاره آمریکا به قاره آسیا) و در حین عبور از این خط باید یک روز به تاریخ افزود و از شرق عالم به غرب (از آسیا به آمریکا) باید یک روز از تاریخ کم کرد، به عنوان مثال اگر در شرق آسیا روز جمعه باشد، پس از عبور از خط بین المللی زمان و به سمت قاره آمریکا، تاریخ، روز پنجشنبه خواهد بود.

در قرن شانزدهم میلادی که پرتغالیها در جنوب شرقی آسیا و اسپانیولها بر آمریکای جنوبی و جزایر فیلیپین تسلط داشتند از اختلاف ساعت آگاهی داشتند. هنگامی که پرتغالیها از طریق جنوب آفریقا به جزایر فیلیپین می رسیدند و زمانی که اسپانیولها از طریق تنگه ماژلان به فیلیپین می رسیدند، پرتغالیها ۸ ساعت از ساعت رسمی کشورشان جلو می افتادند و اسپانیولها، ۱۶ ساعت عقب می ماندند. در یادداشتی که از همراهان ماژلان باقیمانده است به وضوح به یک روز گم شده و یا یک روز حیران کننده اشاره شده است:

«هنگامی که کشتی ویکتوریا دماغه امید نیک در آفریقای جنوبی را دور زد و وارد جزایر «ورد» شدیم، برای دریانوردان آن روز چهارشنبه بود ولی مردم آن جزیره در محاسبات خود، روز پنجشنبه را به کار می بردند، در این جا بود که معتقد شدیم که یک روز را از دست داده ایم...»^{۳۴} علت این امر عبور از خط بین المللی زمان می باشد، اگر اروپاییان از قرن شانزدهم میلادی از یک روز، اختلاف در سفر به دور جهان اطلاع پیدا کردند ولی مسلمانان از اوایل قرن هشتم هجری/ چهاردهم میلادی، از آن آگاه بودند و جغرافیدانان مسلمان از جمله ابوالفدا در کتاب تقویم البلدان به وضوح به آن اشاره کرده است. علی رغم آن که کشورهای مختلف به اختلاف ساعت پی برده بودند ولی عملاً در حدود ۴۰ سال اقدام مهمی صورت نگرفت تا این که در سال ۱۸۸۴ م که نمایندگان ۲۶ کشور جهان در واشنگتن د.سی. آمریکا درباره نصف النهار گرینویچ به توافق رسیدند، همزمان با آن به فاصله ۱۸۰° از نصف النهار گرینویچ خط بین المللی زمان نیز رسمیت پیدا کرد. در آغاز در مورد مسیر عبور این خط اختلاف نظر وجود داشت ولی بعداً در محل فعلی آن به توافق رسیدند. این خط کاملاً مستقیم نبوده و در قسمتی از مسیر خود دارای انحناء می باشد تا تمام مناطقی را که می تواند در قیاس ساعتی یکسان واقع شوند، تحت پوشش قرار گیرد این خط از قطب شمال و بر روی نصف النهار ۱۸۰° شروع شده و به طور مستقیم تا عرض ۷۰° N، امتداد می یابد، سپس به سمت جنوب شرقی منحرف شده و به نصف النهار ۱۶۹° W و مدار ۶۵° N می رسد، بعد از عبور از باب برینگ به طرف جنوب غربی انحراف پیدا کرده و این انحراف تا نصف النهار ۳۰° N و ۱۷۲° و یا مدار ۳۰° N و ۵۰° امتداد می یابد، از آن نقطه مجدداً به سمت شرق منحرف شده و به جزایر آلوسین می رسد و در مدار ۳۰° N و ۴۷° بر روی نصف النهار ۱۸۰° منطبق می گردد و تا مدار ۵° جنوب خط استوا پیش رفته سپس به طرف جنوب شرقی منحرف می شود و تا جزیره ساموآ ادامه می یابد، از آن جا به طرف شرق از کنار جزایر فیجی عبور کرده و اندکی به سمت غرب منحرف و سپس بر روی نصف النهار ۳۰° W و ۱۷۲° به سوی جنوب کشیده می شود مدار ۳۰° S و ۴۵° در شرق زلاندونومی رسد. از این نقطه خط بین المللی زمان به سمت غرب منحرف شده و با جهت شمال شرقی- جنوب غربی بر نصف النهار ۱۸۰° منطبق شده و مستقیم تا قطب جنوب امتداد می یابد.

زمان و رابطه آن با طول جغرافیایی: همان طور که قبلاً اشاره شد بر اثر حرکت خورشید ظاهری و متوسط به ترتیب زمان ظاهری و متوسط پدید می آید و وقتی خورشید دقیقاً در راستای نصف النهار محل قرار بگیرد ساعت محلی ۱۲ را نشان می دهد و زمانی که نسبت به ما، در طرف دیگر زمین قرار بگیرد، وقت محلی، نیمه شب یا ساعت صفر خواهد بود و چون خورشید قرص 360° را در ۲۴ ساعت طی می کند، یعنی در هر ساعت 15° حرکت می کند لذا هر ساعت به $60'$ زمانی و هر دقیقه زمانی به $60''$ زمانی تقسیم می شود، در نتیجه یک رابطه معینی بین زمان و طول جغرافیایی و یا بین زمان و کمان وجود دارد. برای نشان دادن اجزاء درجه، یعنی دقیقه و ثانیه، از علامت (آکسان)، استفاده می شود (جدول شماره ۳)

جدول شماره ۳- تبدیل زوایا به درجه یا زمان

واحد زمان	زاویه معادل	واحد زمان	زاویه معادل
یک شبانه روز	360°	۳/۸۱۹۷۱۹ ساعت	یک رادیان
یک ساعت	15°	$4''$	یک درجه
یک دقیقه	$15'$ قوسی	$4''$	یک دقیقه قوسی
یک ثانیه	$15''$ قوسی	۰/۰۶۶۶۶۷ ثانیه	یک ثانیه قوسی

به عبارت دیگر می توان گفت که زمان دو مکان، همانند طول جغرافیایی آنها متفاوت است. از آن جا که حرکت ظاهری خورشید از شرق به غرب است، لذا زمان مکانهایی که در طول جغرافیایی شرق قرار گرفته اند از نظر عددی، ساعاتی بزرگتر از گرینویچ دارند، یعنی اگر ناظری در شرق ناظر دیگر باشد، زمان او از نظر عددی بزرگتر و در غرب، زمان او از نظر عددی کوچکتر است، نتیجه آن که تفاوت در زمان ظاهری یا متوسط بر اثر تفاوت با طول جغرافیایی بر حسب زمان می باشد. چون جدولی وجود ندارد که تمام اطلاعات مربوط به تعداد نامحدود مکانها را نشان دهد. لذا تمام داده ها را بلید بر اساس زمان متوسط گرینویچ (L. M. T) در نظر گرفت و سپس با استفاده از طول جغرافیایی، زمان متوسط محلی L. M. T را حساب کرد (شکل شماره ۶)

بدین ترتیب از طریق اختلاف طول جغرافیایی می توان به اختلاف ساعت دست

۵۱، مطلوب است. طول جغرافیایی تبریز ۳۵°؟

چون هر دقیقه زمانی معادل ۱۵ قوسی است لذا:

$$۲۰ \times ۱۵ = ۳۰۰$$

اختلاف طول جغرافیایی تهران و تبریز ۴ و ۵ یا ۵ = ۶۰ ÷ ۳۰۰

و چون تبریز در غرب تهران واقع است بنابراین طول جغرافیایی تبریز عبارت خواهد بود

$$\text{از: } ۲۱ \text{ و } ۴۶ = ۵ - ۲۵ \text{ و } ۵۱$$

به عبارت بهتر طول جغرافیایی میدان شهرداری تبریز ۱۸ و ۴۶ است.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی